

Так же была проведена оценка усталостной долговечности, которая показывает количество циклов нагружения до разрушения конструкции, минимальное значение которого составило при использовании муфты с величиной зазора 3 мм 548 циклов, в то время как с величиной зазора 0,5 мм этот показатель превышает нормативные значения, равные 10000 циклов. В данном случае «раскрытие» трещины не происходит в течение нормативного срока службы.

Таким образом, по результатам проведенных расчетов показана эффективность использования ремонтной конструкции в случае проведения монтажа на трубопроводе с обеспечением минимальной величины зазора. Если принять коэффициент усиления равным 1 в случае монтажа муфты с минимальным зазором, тогда установленная конструкция будет демонстрировать наилучшую эффективность. При больших величинах зазора после определенного количества циклов нагрузки трещина может «раскрыться» и в этом случае вся нагрузка от давления нефти будет распределена на сварной шов.

#### Литература

1. Федоров А.Г. Совершенствование методики ремонта нефтегазопроводов с применением стальных обжимных муфт. – Ухта: Ухтинский государственный технический университет, 2017. – 216с.
2. РД-23.040.00-КТН-140-11 Методы ремонта дефектов и дефектных секций действующих магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов.
3. Сагдеева Ю.А., Копысов С.П., Новиков А.К. Введение в метод конечных элементов: метод. пособие. – Ижевск: Удмуртский университет, 2011. – 44с.

### **ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УЧАСТКА НЕФТЕПРОВОДА С ДЕФЕКТОМ ПОТЕРИ МЕТАЛЛА ДО И ПОСЛЕ РЕМОНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПОЗИТНО МУФТОВОГО РЕМОНТА**

**Харлампьев Х.К.**

Научный руководитель доцент Н.В. Гончаров

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Анализ данных ежегодных отчетов Ростехнадзора [1] показывает, что основной причиной аварий на линейной части магистральных нефтепроводов является потеря металла стенки трубы. Это, прежде всего, связано со значительными сроками эксплуатации трубопроводов. Полная замена их участков требует значительных финансовых затрат. Менее затратным мероприятием является проведение выборочных ремонтов дефектных участков трубопроводов регламентированными способами. В компании ПАО «Транснефть» для ремонта дефектов стенки широко применяются ремонтные конструкции, в числе которых муфта П1 [2]. В конструкцию муфты П1 входят две полумуфты, два патрубка, установочные и контрольные болты. К основным преимуществам применения муфты П1 относятся: отсутствие необходимости остановки перекачки транспортируемого продукта; повышение безопасности ремонта, за счет того, что стенка трубы не подвержена воздействию сварочной дуги; металлоконструкции муфты не имеют прямого контакта с ремонтируемой трубой и др. Однако, ввиду высокой стоимости муфты и применяемых при ремонте композитных материалов, целесообразно проводить обоснование применения муфты П1 в каждом конкретном случае. Анализ эффективности применения ремонтной конструкции может быть проведен сравнением по критериям прочности участка трубопровода с дефектом и отремонтированного участка на основании оценки напряженно-деформированного состояния [3].

В нашей работе была поставлена задача проведения оценки напряженно-деформированного состояния участка действующего магистрального нефтепровода при различных параметрах дефекта потери металла до и после ремонта с применением муфты П1.

В качестве рассматриваемого трубопровода принят магистральный нефтепровод диаметром 530 мм, с толщиной стенки 10 мм, материал трубопровода сталь 09Г2С. Длина моделируемого участка составила 7 м. В качестве ремонтной конструкции принята композитная муфта П1 длиной 1500 мм с внутренним диаметром после сборки равным 560 мм и толщиной стенки 10мм. В качестве композитного материала принят эпоксидный компаунд СМЭЛ компании «ЭНПЦ Эпитал» с максимальным напряжением при сжатии 90 МПа.

Решение поставленной задачи производилось на основе конечно-элементного анализа в программном комплексе Ansys. Были сформированы два вида моделей: модель трубопровода с дефектом потери металла и модель с дефектом при установке муфты П1 (рис.1). Дефект потери металла на поверхности трубопровода смоделирован в виде углубления с остаточной постоянной толщиной 5 мм, переходы по краям дефекта имеют округлую форму (рис.2). В процессе исследования изменялись следующие параметры дефекта:  $l$  – длина дефекта (размер вдоль оси) трубопровода,  $a$  – ширина дефекта (поперечный размер).

При моделировании дефектного участка с установленной муфтой в отличие от ранее представляемых моделей [4] в нашем случае смоделирован контакт композита с дефектом за счет полного заполнения объема потерянного металла и полости между трубой и муфтой композитным материалом.

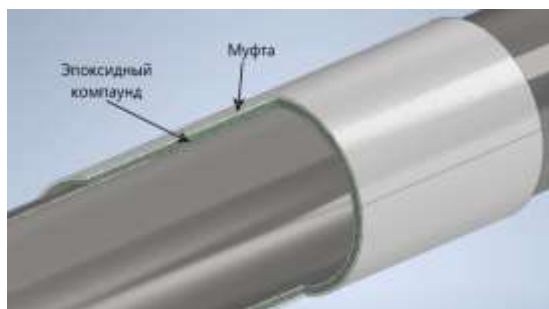


Рис. 1. Вид модели муфты ППв разрезе

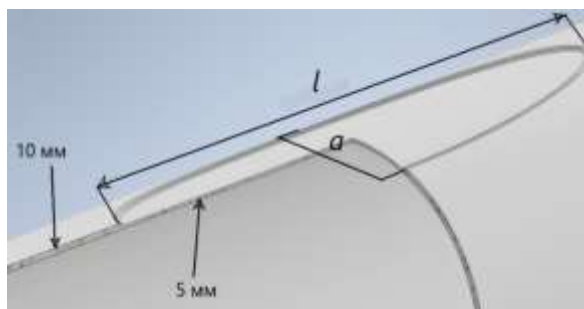


Рис. 2. Вид моделируемого дефекта

Анализ напряженно-деформированного состояния показал следующее. При давлении в трубопроводе 3 МПа, по мере увеличения ширины дефекта при постоянной длине 1000 мм, значения напряжений снижаются и постепенно перераспределяются на края дефектного участка.

Оценка напряженно-деформированного состояния при варьировании длиной дефекта проводилась при постоянной ширине дефекта 200 мм. Анализ результатов показал, что с уменьшением длины дефекта максимальные эквивалентные напряжения снижаются (рис. 5), а характер их распределения изменяется. При значениях длины дефекта, превышающих ширину, максимальные напряжения концентрируются вдоль оси трубопровода, а при превышении значения ширины дефекта над длиной - поперек оси трубопровода (рис. 6.)

Расчет показал, что при внутреннем давлении 5 МПа и параметрах дефекта  $l = 1000$  мм и  $a = 200$  мм, максимальные эквивалентные напряжения составляют 430 МПа. Коэффициент запаса прочности при этом 0,58. Расчет, на модели с установленной муфтой при том же значении внутреннего давления и параметрах дефекта  $l = 1000$  мм и  $a = 200$  мм, выявил значительное снижение максимальных эквивалентных напряжений до 166 МПа. Значение коэффициента запаса прочности повысилось до 1,5. Одновременно наблюдается перераспределение максимальных эквивалентных напряжений с центра на края дефектного участка. Характеры распределения напряжений представлены на рисунках 7,8.

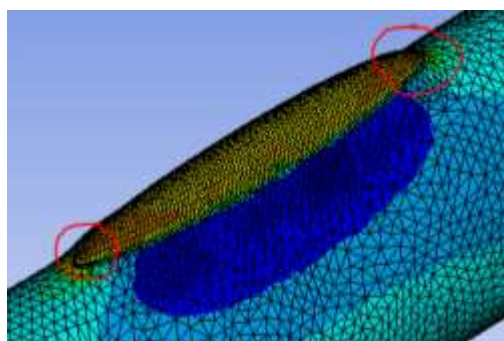


Рис.3. Распределение напряжений при длине дефекта 1000 мм и ширине 50 мм

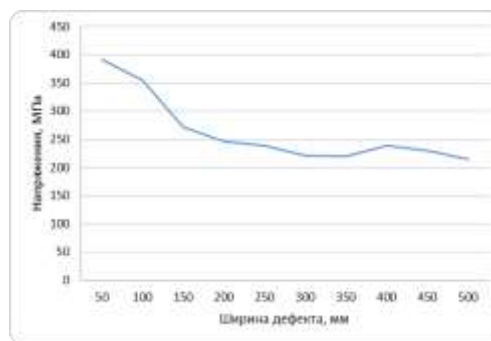


Рис. 4. Зависимость значений максимальных напряжений при изменении ширины дефекта

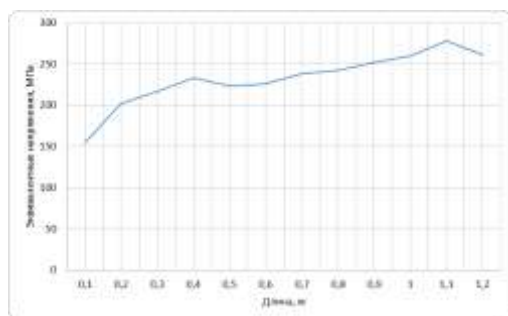


Рис. 5. Зависимость значений максимальных напряжений при изменении длины дефекта

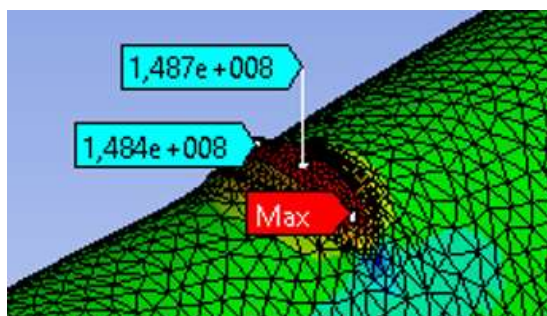


Рис.6. Распределение напряжений при длине дефекта 100 мм и ширине 200 мм

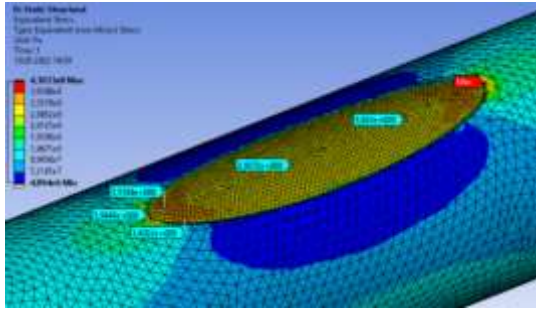


Рис. 7. Распределение напряжений в области дефекта без установки муфты

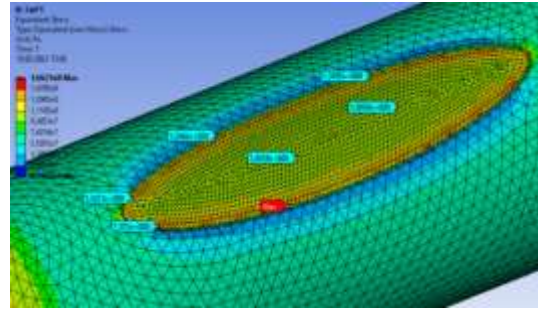


Рис.8. Распределение напряжений в области дефекта при установке муфты III

Получены расчетные модели для оценки напряженно-деформированного состояния участка магистрального нефтепровода с дефектом потери металла до и после ремонта композитной муфтой П1. Отмечено, что установка муфты значительно повышает коэффициент запаса прочности. Установлено, что характер распределения напряжений в стенке трубы в области дефекта потери металла зависит от значений параметров дефекта и должен учитываться при расчете трубопровода на прочность и усталостную долговечность в каждом конкретном случае. Результаты работы могут быть использованы при разработке методик обоснования целесообразности ремонта магистральных нефтепроводов с использованием ремонтных конструкций.

#### Литература

1. Материалы ежегодных отчетов о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за 2011-2021 года [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/).
2. РД-23.040.00-КТН-140-11 Методы ремонта дефектов и дефектных секций действующих магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов
3. Фролова А. В. Анализ эффективности использования ремонтной конструкции дефектного участка нефтепровода с применением программного комплекса ANSYS //Проблемы геологии и освоения недр: труды XXV Международного симпозиума имени академика МА Усова студентов и молодых учёных, посвященного 120-летию горногеологического образования в Сибири, 125-летию со дня основания Томского политехнического университета, Томск, 5-9 апреля 2021 г. Т. 2. –Томск, 2021. – Т. 2. – С. 439-441.
4. Кочерыгин В. А. Исследование эффективности композитно-муфтовой технологии ремонта магистральных нефтепроводов //Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство. – 2019. – С. 142-147.

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ КОМПЕНСАТОРА МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА

Шахметов И.Н.

Научный руководитель доцент Н.В. Чухарева

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

При строительстве магистральных нефтепроводов в районах распространения криолитозоны основным способом прокладки является надземный. Он заключается в расположении трубопровода на отдельных опорах, которые позволяют минимизировать температурное воздействие трубы на несущую способность грунта. При этом из-за суровых климатических условий региона прокладки возникает потребность обустройства пунктов путевого подогрева нефти, которые обеспечивают необходимые реологические параметры для ее транспорта. Однако наличие температурного градиента приводит к расширению материала стенок трубопровода и, как следствие, возникновению перемещений. Данный фактор может оказать негативное влияние на напряженно-деформированное состояние как самого трубопровода, так и других объектов линейной части. Для предотвращения этого надземные участки оборудуются разными конструкциями компенсаторов, которые позволяют нивелировать температурные перемещения. Выбор геометрической формы компенсатора на стадии проектирования определяет технологические и стоимостные параметры будущего нефтепровода.

Цель данной работы – определение оптимальной конструкции компенсатора надземного участка магистрального нефтепровода в условиях сбережения производственных ресурсов.

Обзор нормативно-технической документации [1] показал, что для компенсации продольных перемещений следует предусматривать установку П-, Г- или Z-образных компенсаторов. Причем две последние конструкции применяются в особых условиях, таких как пересечение естественных и искусственных препятствия, переход от одного способа прокладки к другому [2]. По этой причине их дальнейшее рассмотрение в данной работе не проводилось. П-образная конструкция применяется на прямолинейных участках без дополнительных специфических условий. Также для таких участков известны трапециевидная конструкция [3] и запатентованные S- и дугообразный компенсаторы [4, 5]. Таким образом, возникает вопрос о технологической эффективности каждого компенсатора в совокупности с экономическими факторами.